

**초고층 건물의 건전성 감시를 위한
변형률 기반 무선 센서 네트워크 기법의 기초적 연구
Fundamental Research of Strain-based Wireless Sensor Network
for Structural Health Monitoring of Highrise building**

정은수* · 박효선** · 최석원*** · 차호정****
Jung Eun Su · Park Hyo Seon · Choi Sukwon · Cha Hojung

Abstract

For smart structure technologies, the interests in wireless sensor networks for structural health monitoring are growing. The wireless sensor networks reduce the installation of the wire embedded in the whole structure and save the costs. But the wireless sensor networks have lots of limits and there are lots of researches and developments of wireless sensor and the network for data process. Most of the researches of wireless sensor network is applying to the civil engineering structure and the researches for the highrise building are required. And strain-based SHM gives the local damage information of the structures which acceleration-based SHM can not.

In this paper, concept of wireless sensor network for structural health monitoring of highrise building is suggested. And verifying the feasibility of the strain-based SHM a strain sensor board has developed and tested by experiments.

key words : Wireless Sensor Network(WSN), Strain, Structural Health Monitoring(SHM)

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 주요 건축물의 고층화 대형화 추세에 따라 이러한 건축물들과 사회기반시설의 안전성과 사용성을 평가하기 위한 구조물 건전성 감시(Structural Health Monitoring, SHM)에 대한 연구가 많이 진행되고 있다. 이 SHM에 사용되는 계측 장비는 변형률 게이지 센서, 광섬유 센서, 가속도계, GPS 등이며 이들 대부분은 D/A를 위해 유선 시스템에서 사용된다. 구조물의 유선계측 시스템은 초기 설치비용이 많이 들고 유지보수가 어렵다. 또한 유선계측 시스템은 신호에 잡음을 발생시키는 주변 요소로부터 취약하다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 방편으로 무선계측시스템을 구조물에 적용하는 연구들이 진행 중이다.

무선 계측은 유선계측 시스템보다 통신에 대한 통신장애 보정이 손쉬울 뿐 아니라 자본과 초기 설치비용이 적다. 현재 개발되는 무선계측시스템의 특징은 기본적으로 무선에 의한 계측 데이터의 송수신이 가능하며, CPU가 내장된 별도 보드(회로)를 통해 외부 센서에서 입력되는 자가 데이터 획득 기능 및 간단한 DSP(Digital Signal Processing)와 임시데이터 저장 기능, 시스템 제어능력이 있다. 특히 AVR, MSP430 등의 초소형 MCU(Micro-Controller Unit) 및 900MHz~2.4GHz 주파수 영역의 저전력 단거리 무선 라디오를 이용하는 WSN기술을 이용한 연구가 활발히 진행되고 있다.

현재 WSN을 이용한 무선계측 제품을 생산하는 주요 회사는 MicroStrain, Inc.와 Crossbow Technology, Inc.이다. MicroStrain, Inc.제품은 전기저항식 변형률 게이지를 사용할 수 있으나 Ad-hoc 통신을 지원하지

* 정희원·연세대학교 건축공학과·석사과정·E-mail: frozenwater@yonsei.ac.kr
** 정희원·연세대학교 건축도시공학부·부교수
*** 비희원·연세대학교 컴퓨터과학과·박사과정
**** 비희원·연세대학교 컴퓨터과학과·교수

못하여 원거리 데이터 수집이 어려우며, Crossbow, Inc. 제품은 노드간의 Ad-hoc을 지원하나 가속도센서만 지원할 뿐 변형률게이지 센서를 지원하는 센서보드가 제공되지 않고 있다.

Y. Wang et al.의 연구와 Sumitro, S. et al.의 연구 등 장대형 교량에서 WSN을 구성하여 실험한 사례는 많다. 그러나 건축물의 경우는 그렇지 않다. 구조물 형상이 단순하여 무선통신에 방해가 적은 교량에 비하여 건축물의 경우 수직, 수평의 선, 면 부재로 인해 무선통신에 물리적 장애가 비교적 크다. 따라서 초고층 건축물의 경우에 WSN을 적절하게 구성해야 하며 Ad-hoc을 통해 fault tolerancy를 보장해 주어야 한다.

또한 N. Kurata et al.의 실험에서 MICA mote가 무선 가속도계로서 요구성능을 만족하는 것을 확인하였다. 그러나 실험 모델에서 자세한 손상 과정은 기둥의 변형률로써 탐지할 수 있음을 확인하였다. 따라서 변형률을 이용한 SHM이 필요하며 무선계측에 적용할 변형률 게이지 센서 보드의 개발이 요구된다.

1.2 연구의 범위 및 방법

이러한 현재의 무선 계측 시스템의 단점을 극복하고 이를 초고층 건물에 적용하기 위해 본 연구에서는 초고층 건물의 건전성 감시를 위한 변형률 기반 WSN을 구성하고, 이를 검증하기 위해 단순 구조물의 변형률 데이터를 간단한 WSN을 통해 획득하였으며 초고층 건물의 건전성 감시의 가능성을 확인하였다.

2. 본 론

2.1 무선 센서 네트워크

초고층 건물의 건전성 감시를 위한 WSN을 구성하기 위해 먼저 노드(Node)를 구성하고 역할에 따라 적절히 배치한다. 노드는 센서로부터 변형률 데이터를 직접 받는 센서노드와 데이터를 전송하는데 통로로 이용되는 통신노드로 구분한다. 데이터가 취합되는 Host PC에 가까운 통신노드에서 병목현상이 발생하므로 통신노드의 용량한계를 고려하여 일정 구역 내에 Local Host PC를 두어 Local zone을 형성한다. 센서노드는 이 영역 안에서 변형률, 가속도 등의 데이터를 획득하고 통신노드를 통해 Local Host PC로 데이터를 전송한다. Local Host PC는 국부적 손상평가를 수행하고 의미 있는 데이터 발생 시 유선통신망을 통해 Global Host PC로 전송한다. Global Host PC에서는 건물전체의 손상평가를 수행하며 평가된 구조물의 건전성 정도에 따라 경보를 통해 사용자에게 정보를 전달한다. 또한 Global Host PC를 인터넷에 연결하여 사용자로 하여금 원격 감시가 가능하도록 할 수 있다.

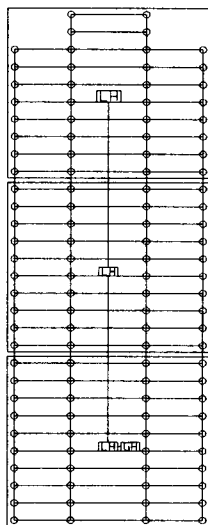
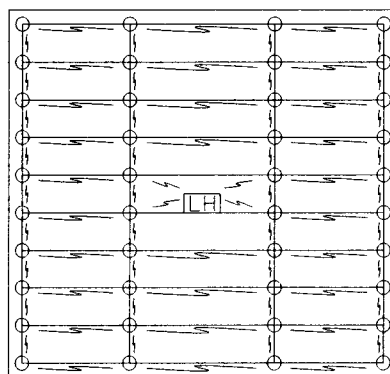


그림 1. Global WSN Diagram



O : WSN Node
LH : Local Host PC
GH : Global Host PC

그림 2. Local WSN Diagram

2.2 센서노드와 통신노드

센서노드에는 변형률을 측정하기 위한 Strain Sensor Board와 가속도를 측정하기 위한 Acceleration Sensor Board가 배치된다. Strain Sensor Board는 그림 3과 같이 변형률 게이지 센서로부터 획득한 데이터

를 RF(Radio Frequency)로 바꾸어 통신노드로 전송하게 된다. 현재 개발된 Strain Sensor board는 변형률 게이지 센서로부터 입력되는 전압값이 작아 증폭(amplifying)과 필터링(filtering)을 거쳐 변형률을 RF로 변환하여 의미 있게 전달하도록 하였다. 그러나 내부회로에 가변저항을 설치하여 Strain Sensor board의 기능이 가능하도록 하였기 때문에 RF값을 통해 변형률의 변화 양상은 확인할 수 있으나 정확한 변형률 값으로 변환할 수 없어서 factor를 통해 추산하였다. Strain Sensor board의 사양은 표 1과 같다.

그리고 Strain Sensor board에서 전송된 RF는 그림 4과 같이 통신노드의 Ad-hoc을 통해 Local Host PC로 전달된다.

표 1. 무선전송장치의 사양

항목	사양
MCU Type	TI MSP430F149
방식	8Mhz 16-bit RISC
메모리	10KB RAM, 48KB ROM
ADC	12-bit dual ADC
Active Power	3mW
라디오 장치	Chipcon CC2420
전송 주파수	2.4GHz (24000 ~24835)
전송 채널 수 및 채널간격	16채널 및 채널당 5MHz 간격
전송속도	최대 250K bps
전송출력	RX: 38 mA, TX: 35 mA
모듈타입	O-QPSK with half-sine pulse shape

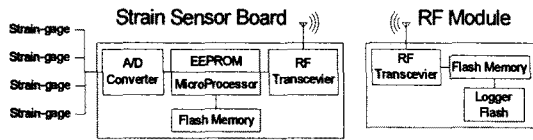


그림 3. Strain Sensor board와 RF Module

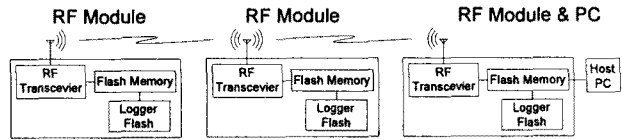


그림 4. RF Module간의 Ad-hoc

3. 실험

3.1 실험 구성

개발한 센서노드의 성능 평가를 위해 H형강(100×100×6×8)을 양단거리 4m의 단순지지 조건의 보로 설치하고, 보의 중앙부를 가력 하여 중앙부 플랜지 하부의 변형률을 측정하였다. 동일한 위치에 부착된 3개의 변형률 게이지 센서로부터 각각 유선, 기존 무선 통신 제품(V-Link), 개발된 노드(H-mote)를 사용하여 데이터를 획득하였다. 하중은 0.5ton, 1.0ton, 1.5ton의 세 단계로 정적으로 가력 하였으며 sampling rate는 10Hz이다.

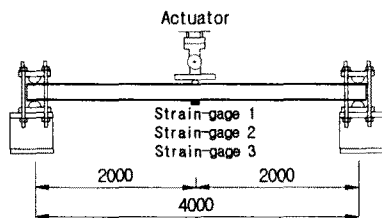


그림 5. 실험체 설치

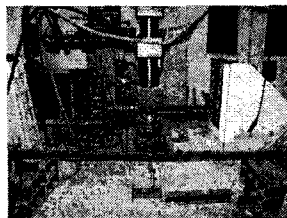


그림 6. 실험체 설치 사진

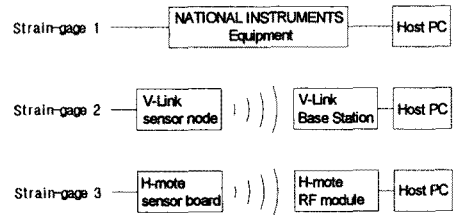


그림 7. Data Acquisition 경로

3.2 Result

가력시간 150초 동안 1500개의 데이터가 유선을 통해 획득되었고(그림 8), 무선의 경우 V-Link와 H-mote 모두 약 1200개 정도의 데이터만 획득되었다.(그림 9). 하중이 일정하게 유지되는 단계에서 획득된 변형률은 그림10과 같다. 개발된 H-mote는 가변저항을 사용하여서 RF값을 정확한 변형률로 변환하지 못하므로, 0.5ton 단계에서의 변형률을 유선으로 획득한 값과 비교하여 구한 Factor로 1.0ton과 1.5ton 단계의 변형률을 추산하였다. 그 결과 실험을 통하여 개발된 센서노드가 변형률을 성공적으로 획득함을 확인하였다.

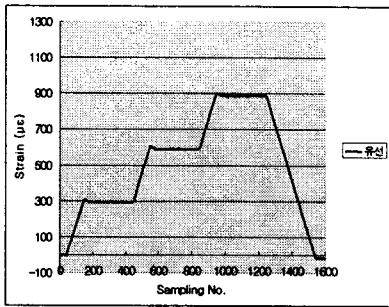


그림 8. 유선 D/A

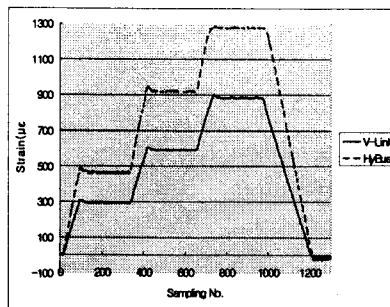


그림 9. 무선 D/A

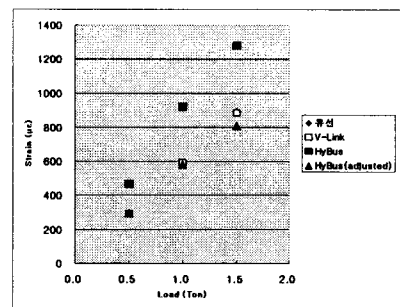


그림 10. 하중 단계별 변형률

표 2. 하중별 변형률

Load (Ton)	Strain ($\mu\epsilon$)				Factor	Error (%)	
	유선	V-Link	HyBus	HyBus_adjusted		V-Link	HyBus_adjusted
0.5	294.6	293.1	464.9	293.1	0.634	0.517	0.000
1.0	592.8	589.6	919.2	579.5		0.532	1.733
1.5	890.1	884.0	1277.0	805.78		0.680	9.078

4. 결론

본 연구에서는 초고층 건물의 건전성 감시를 위한 WSN을 제안하였고, 그 가능성을 검증하기 위해 개발된 Strain Sensor Board를 이용하여 실험을 수행하였다. 그 결과를 기존 유선계측 시스템으로부터 획득한 결과와 비교/분석하여 Strain Sensor Board의 신뢰성을 입증하였고, 초고층 건물에 대한 변형률 기반 WSN의 가능성을 확인하였다.

그리고 Strain Sensor Board 내부회로의 적절한 저항 구성과 동적 성능평가를 위해 시간 정보를 데이터에 실는 연구, 통신노드의 성능 개발을 통한 실제 구조물에의 WSN 적용이 향후 과제이다.

감사의 글

이 논문은 2005년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2005-01504).

참고문헌

1. Jerome P. Lynch, Kincho H. Law, Erik G. Straser, Anne S. Kiremidjian and Tom W. Kenny, "The Development of a Wireless Modular Health Monitoring System for Civil Structures," Proceedings of the MCEER Mitigation of Earthquake Disaster by Advanced Technologies Workshop, 2000. 11
2. Shenfang Yuan, Xiaosong Lai, Xia Zhao, Xin Xu and Liang Zhang, "Distributed structural health monitoring system based on smart wireless sensor and multi-agent technology", Institute of Physics Publishing, Smart Mater. Struct. 15 (2006) 1-8
3. N. Kurata, B.F. Spencer, Jr., M. Ruiz-Sandoval, Y. Miyamoto & Y. Sako, "A study on building risk monitoring using wireless sensor network MICA mote"
4. Sumitro, S., Matsui, Y., Kono, M., Okamoto, T., and Fuji, K. (2001), "Long Span Bridge Bridge Health Monitoring System in Japan," Health Monitoring and Management of Civil Infrastructure Systems, Proceedings of SPIE, vol 4337, pp. 517-524.
5. Y. Wang, J. P. Lynch and K. H. Law, "A wireless structural health monitoring system with multithreaded sensing devices: design and validation", Structure and Infrastructure Engineering, 2006, 1-18, PrEview article
6. 허광희, 이우상, 이유, 이동기, "스마트구조물과 자가획득 무선계측 시스템 설계", 한국구조물진단학회, 2004년도 봄학술발표회 논문집, pp. 87-94, 2004. 5
7. Information on <http://www.microstrain.com>
8. Information on <http://www.xbow.com>